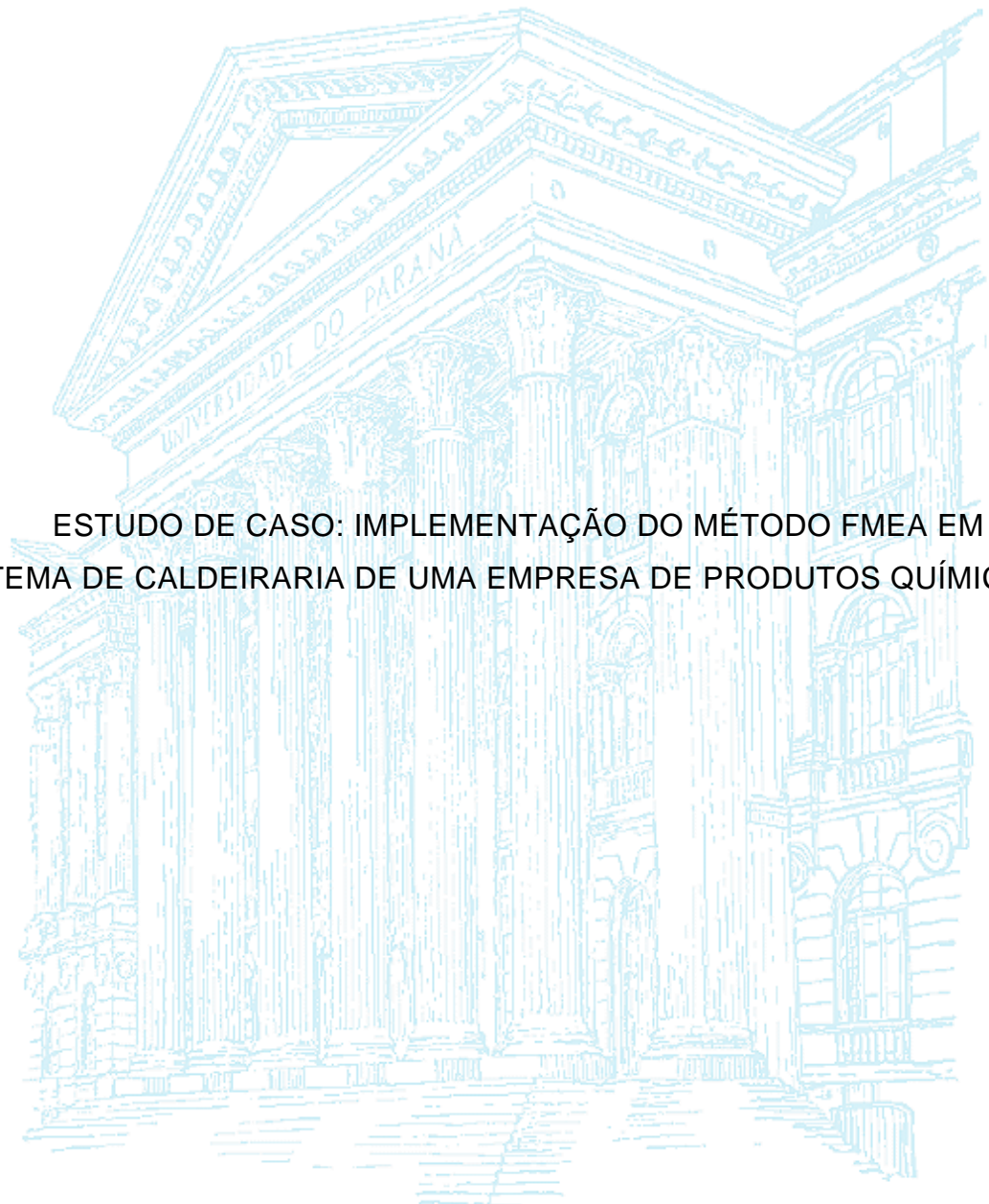


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VINICIUS TIAGO JOROSKI



ESTUDO DE CASO: IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO FMEA EM UM
SISTEMA DE CALDEIRARIA DE UMA EMPRESA DE PRODUTOS QUÍMICOS

CURITIBA

2015

JOROSKI, V. T. ESTUDO DE CASO: IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO FMEA EM UM SISTEMA DE CALDEIRARIA DE UMA EMPRESA DE PRODUTOS QUÍMICOS. 2015.

VINICIUS TIAGO JOROSKI

ESTUDO DE CASO: IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO FMEA EM UM
SISTEMA DE CALDEIRARIA DE UMA EMPRESA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Trabalho de Conclusão do Curso de
Gradação em Engenharia Industrial Madeireira da
Universidade Federal do Paraná, apresentado como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr. Rui André Maggi dos
Anjos

CURITIBA
2015

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é dedicado a minha família e minha namorada que me apoiaram desde o início do curso em todos os momentos de dificuldade e aos professores que me deram subsídios para ampliar meus conhecimentos.

Se A é o sucesso, então A é igual a X mais Y mais Z. O trabalho é X; Y é o lazer; e Z é manter a boca fechada.

Albert Einstein

RESUMO

Caldeiras e vasos de pressão nas indústrias são uma constante fonte de preocupação para a segurança de modo geral. Devido a esta preocupação há um rigoroso controle quanto à utilização e manutenção destes equipamentos, regularizados pela NR13/1994 – Caldeiras e vasos de pressão. Porém, apenas a aplicação da norma pode ser confusa e de difícil administração para a empresa. O *Failure Modes Effects Analysis* (FMEA) é uma ferramenta para análise de risco que pode auxiliar no processo de quantificação e prevenção dos riscos inerentes a qualquer processo. O objetivo deste estudo de caso foi acompanhar a aplicação da ferramenta FMEA em uma empresa do ramo de produtos químicos que possui uma caldeira. A metodologia aplicado foi realizar o levantamento de dados das operações e equipamentos envolvidos no processo, cada processo foi analisado e colocado em planilhas. Os resultados observados foram o melhor entendimento do processo e a visualização das principais falhas, podendo a empresa atuar preventivamente para operação e manutenção de cada equipamento envolvido.

Palavras-chave: Caldeira, Aplicação de FMEA, Análise de risco, produtos químicos.

ABSTRACT

Boilers and pressure vessels in the industries are a constant source of concern for the general security. Because of this concern there is a strict control over the use and maintenance of this equipment, regulated by NR13 / 1994 – Caldeiras e vasos de pressão. However, only the application of the rule can be confusing and difficult to administer for the company. The Failure Modes Effects Analysis (FMEA) is a tool for risk analysis that can assist in the process of quantification and prevention of the risks inherent in any process. The objective of this study was to monitor the implementation of FMEA tool in a branch of the chemical company that has a boiler. The applied methodology was to survey data of operations and equipment involved in the process, each process was analyzed and put into spreadsheets. Results were the best understanding of the process and the visualization of the major flaws, the company may act preventively for operation and maintenance of each equipment involved.

Key-words: Boiler, FMEA application, risk analysis, chemicals

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 10 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 11 |
| 2.1 | GERENCIAMENTO DE RISCOS..... | 11 |
| 2.2 | PRINCIPAIS TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS..... | 13 |
| 2.3 | FMEA DE PROCESSOS..... | 23 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 24 |
| 3.1 | IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA..... | 24 |
| 3.2 | MÉTODOS..... | 24 |
| 3.2.1 | LEVANTAMENTO DE DADOS | 24 |
| 3.2.2 | ESQUEMATIZAÇÃO DO PROCESSO | 24 |
| 3.2.3 | FMEA | 25 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 27 |
| 4.1 | DESCRIÇÃO DO PROCESSO | 27 |
| 4.1.1 | TRATAMENTO DE ÁGUA | 27 |
| 4.1.2 | ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEL..... | 28 |
| 4.1.3 | GERAÇÃO DE ENERGIA | 29 |
| 4.1.4 | CALDEIRA | 31 |
| 4.1.5 | DISTRIBUIÇÃO DO VAPOR..... | 33 |
| 4.1.6 | RESFRIAMENTO..... | 34 |
| 4.1.7 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 35 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 38 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 39 |

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de caldeiras são utilizados há muito tempo para geração de energia e distribuição de calor dentro das empresas. Elas são uma forma barata e eficiente de obter estes insumos, mas consistem em um grande risco para a empresa e seus funcionários caso medidas de segurança não sejam adotadas e seguidas.

Historicamente as caldeiras têm sido uma ferramenta de trabalho importante, porém diversos acidentes já provocaram mortes e altas perdas financeiras para empresas. Tais perdas estão relacionadas com a proporção dos acidentes: o rompimento de um vaso ou uma caldeira provoca, por exemplo, projeção de estilhaços e vazamento de vapores a altas temperaturas. Hoje a legislação para o controle e monitoramento de uma caldeira é bastante exigente e rígida em todo o mundo fazendo com que os índices de problemas relacionados a estes equipamentos tenham caído ano a ano.

No Brasil a Norma que regulamenta caldeiras é a NR-13 Caldeiras e Vasos de Pressão de 27 de dezembro de 1994. Todas as empresas que possuem um destes equipamentos precisam seguir todas as exigências frente a esta Norma, desde revisões e planilhas de controle até o treinamento dado aos operadores do sistema. Não existe nenhuma exigência para que se aplique um sistema de gestão de segurança nestas operações, mas a própria gestão do equipamento por meio de planilhas ou *check lists* já pode ser considerado Gestão da segurança.

Para melhor administração dos procedimentos de segurança e controle, podem-se usar ferramentas que facilitem e agilizem seu andamento. A ferramenta que será abordada neste trabalho será o FMEA – *Failure Modes Effects Analysis* ou Análise de Modo e Efeito de Falha. O método consiste em verificar os efeitos causados por falhas em determinados pontos chaves de algum processo. A escolha do método se dá pelo fato de ser o principal responsável pela mitigação de um dos piores acidentes passíveis de ocorrência em um setor de caldeiraria e, juntamente com a escolha da técnica de análise, será justificada ao longo do trabalho.

Dessa maneira, este trabalho consiste em descrever um caso de aplicação da ferramenta FMEA em uma empresa de Almirante Tamandaré que possui um sistema de caldeira já instalado e operando para geração de energia e utilização nos seus processos.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi descrever a implementação e o funcionamento da ferramenta FMEA em uma caldeira em operação. Como objetivos específicos foi realizada uma análise do sistema e sugeridas melhorias na gestão da ferramenta FMEA aplicada no processo produtivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GERENCIAMENTO DE RISCOS

Segundo MacDonald (2004), a palavra risco pode ser usada para representar uma propriedade física ou química, inerente a um elemento, que possui certo potencial de causar danos à indivíduos, ao meio ambiente ou à bens que possuem valor. A instituição internacional *Royal Society Study Group* (RSSG, 1992) considera risco como a probabilidade de certo evento adverso às condições normais ocorra num dado período de tempo ou como resultado de uma ação ou projeto.

Diversas considerações de caráter socioeconômico influenciam a tolerância das pessoas quanto aos riscos. Este, portanto, é definido como aceitável pela entidade reguladora da classe do empreendimento, levando em conta as características do risco.

Segundo Junior (2009), o risco pode ser classificado como:

- a) Negligenciável: quando a ocorrência do evento é muito improvável e suas consequências desprezíveis. Nenhuma ação é requerida para este nível de risco além de revisões periódicas;
- b) Baixo: os riscos são considerados administráveis através de medidas de mitigação apropriadas que são tomadas para manter o risco neste patamar;
- c) Intermediário: quando os riscos são maiores que o desejado e ações devem ser tomadas para reduzi-los a nível tão baixo quanto o economicamente aplicável (“*as low as reasonably practicable*” – ALARP);
- d) Alto: os riscos são considerados inaceitáveis e devem ser substancialmente reduzidos para níveis seguros ou o projeto deve ser descartado.

Tal definição pode ser vista como subjetiva já que depende da interpretação dos riscos de quem está avaliando, mas neste tipo de estudo já é esperado que alguns critérios não possam ser mensurados facilmente, podendo haver certa divergência entre diferentes pontos de vista.

Todas as empresas, mesmo que apenas escritórios, estão sujeitas a exposição dos funcionários a riscos. De modo geral, os riscos são divididos em: Físicos (relacionados com exposição de formas de energia, como calor ou radiação); Químicos (exposição a produtos químicos); Biológicos (agentes microbiológicos,

capazes de causar doenças); Ergonômicos (ligados à exposição de posturas não naturais que podem causar doenças por “exposição contínua”) e; Acidentes (permanência dos colaboradores a cenários onde acidentes podem ocorrer, como escadas sem corrimão, piso escorregadio, etc.) (PEIXOTO, 2011).

A prevenção de acidentes é a forma mais barata de se lidar com qualquer tipo de riscos, já que os custos de processos trabalhistas, perda de equipamentos e a própria imagem da empresa são mais caros que os custos com prevenção e conscientização dos colaboradores. Entretanto, esta consciência de prevenção de riscos deve ser adotada por toda a empresa, desde a gerência até funcionários terceirizados ou visitantes, sendo uma política expressiva da empresa. (PEIXOTO, 2011).

O planejamento aplicado ao gerenciamento de riscos, abordado por Mota (2003), é um tema complexo, mas de importância para qualquer tipo de empresa. A manutenção preventiva deve ter seu espaço e ser aplicada de forma sistemática e regular para evitar que riscos por falhas de equipamentos sejam uma preocupação da empresa e dos colaboradores.

A manutenção preventiva já foi o foco da atenção (MOTA, 2003), mas aos poucos tem dado espaço a manutenção preditiva. A manutenção preventiva tem como foco a revisão ou substituição de itens em intervalos pré-determinados, ou por orientações do fabricante ou por políticas internas da própria empresa e, apesar de ser bastante eficiente, possui lacunas, principalmente em uma visão de longo prazo e possíveis falhas de sistemas. A manutenção preditiva além de funcionar como a preventiva, ainda aplica sistemas de verificação de eficiência ao processo que podem, caso haja mudanças ou falhas não programadas, indicar a necessidade de troca ou revisão de equipamentos, mesmo estando dentro dos prazos normais de manutenção (ETO & CASTRO, 2007).

Qualquer equipamento que promova ou que contenha gases sob pressão pode ser considerado um vaso de pressão: compressores de ar, equipamentos de refrigeração a gás, inclusive panelas domésticas (que possuem sua própria norma). Todos os equipamentos citados estão relacionados com a presença de acidentes, já que muitas vezes seus operadores até desconhecem os cuidados e o risco que estão correndo pela falta de cuidados na operação. A operação de caldeiras não é diferente, já que muitos proprietários negligenciam as questões de segurança pelo fato destas envolverem investimentos de cunho financeiro e de pessoal. (SILVA *et al*

2008). Este mesmo autor realiza a aplicação do método FMEA no processo de caldeira de uma empresa e demonstra sua aplicação no Sistema de infecção de água, parte considerada de extrema importância neste tipo de processo.

2.2 PRINCIPAIS TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS

A identificação de áreas frágeis e perigos específicos é de suma importância para prevenção dos riscos. A partir da identificação, boa parte do problema está equacionada, porém, isto não é uma tarefa trivial, pois quanto maior a tecnologia envolvida, mais complexo se torna este processo.

Diferentes métodos podem ser usados em fases distintas do projeto (entretanto, existem casos onde a mesma técnica pode ser aplicada de forma coerente em mais de uma fase) e não existe um procedimento único ou mesmo ideal para a identificação dos perigos envolvidos. A metodologia a ser aplicada depende da tecnologia existente nos processos e do objetivo do estudo realizado.

Experiências passadas são sempre uma fonte de informações para aplicação de novos métodos e a obediência a normas e procedimentos certamente contribui para evitar perigos que poderiam passar despercebidos pelas pessoas, mas deve-se estar atento, pois, na maioria das situações em que as técnicas de identificação de perigo são empregadas, há algum aspecto inovador.

a) “Checklist”

É um dos instrumentos mais úteis no processo de identificação de perigos. Como uma norma ou regra de conduta, o “checklist” é uma garantia de que um determinado procedimento, que se mostrou o mais adequado para aquela prática até o momento, está sendo seguido. Sem o aproveitamento efetivo das experiências adquiridas anteriormente torna-se impossível enfrentar os desafios inerentes ao controle do risco e o “checklist” é uma das principais ferramentas existentes para se garantir isso.

Os “checklists” são aplicáveis aos sistemas de gerenciamento em geral e em um projeto, durante todas as suas fases. Há um grande número de exemplos de “checklists” na literatura, na verdade é muito provável encontrá-lo sem qualquer trabalho prático de engenharia. O seu uso apropriado é discutido por MILLER e HOWARD (1971), que afirmam que esta técnica deveria ser utilizada com um único

propósito: o de efetuar uma última verificação, de forma a garantir que nenhuma ação ou tarefa foi esquecida ou negligenciada.

Ele também se torna mais eficaz se as perguntas nele contidas não puderem ser respondidas através de um simples “SIM” ou “NÃO”, mas se exigirem algum tipo de exercício mental na formulação da resposta.

Obviamente os “checklists” são eficazes desde que sejam utilizados. Há uma forte tendência a deixá-los sobre as prateleiras acumulando poeira, esta talvez seja uma das razões que impulsionaram o desenvolvimento de outras técnicas de análise de risco (MILLER & HOWARD, 1971).

b) “What if? – “E se?”

É uma técnica preliminar de identificação de perigos, que consiste na revisão de todo o projeto através de uma série de perguntas iniciadas com a expressão “O que aconteceria se” (embora as questões colocadas não necessariamente iniciem-se com esta expressão).

A metodologia é executada por uma equipe de especialistas, frequentemente com o auxílio de um “checklist” e provavelmente seja, depois deste último, o mais antigo método de identificação de perigos (BURK, 1992).

c) “Preliminary Hazard Analysis” (PHA) – Análise de Riscos Preliminar

É um termo normalmente usado para descrever uma técnica qualitativa de identificação de perigos a ser empregada na etapa inicial do projeto. Como a identificação de perigos é de fundamental importância, muitas empresas desenvolveram algum tipo de técnica para esta finalidade, algumas das quais batizadas de PHA, o que fez com que o termo original perdesse um pouco do seu significado.

Segundo o BURK (1992) o PHA deve ser utilizado apenas no estágio preliminar do desenvolvimento da planta, nos casos em que a experiência passada auxilie a encontrar perigos potenciais. O primeiro passo no PHA é a identificação de componentes ou elementos perigosos existentes no sistema. Este processo é facilitado pela experiência do analista, pelo exercício de julgamento de engenharia e pelo uso de “checklists” que têm sido desenvolvidos ao longo dos anos para auxiliar nesta técnica.

d) “Coarse Hazard Studies” (CHS) – Levantamento rápido de Perigos

Outro método de identificação de perigos que deve ser utilizado preferencialmente na fase inicial do projeto é o “Coarse Hazard Studies” (CHS) ou “checklist” criativo, que é conduzido através de um exercício em equipe (KLETZ (1986) e KNOWLTON (1992)).

É uma técnica desenvolvida para ser utilizada como preparação para o “Hazard and Operability Study” (HAZOP). Foi descrita pela primeira vez no “CIA HAZOP Study Guide”, sendo posteriormente aprimorada no “Chemetics Hazard Study Manual” e pode ser considerada também como uma alternativa ao PHA.

Deve ser realizada na fase inicial de projeto, quando for conhecida a localização dos componentes da planta. O objetivo é determinar se há problemas em áreas como “layout” e localização da planta, características do processo ou informação sobre os perigos (BURK, 1992).

O estudo resulta em um conjunto de tarefas destinadas a mitigar as questões levantadas.

e) “Hazard and Operability Studies” (HAZOP)

Um método muito usado atualmente para identificação de perigos na etapa de (ou próximo da) confecção do fluxograma de processo é o HAZOP. Esta técnica é executada através de um trabalho em equipe que envolve o exame da finalidade do projeto à luz de palavras-chave.

A técnica foi empregada pela primeira vez nos anos 60 na “Imperial Chemical Industries” (ICI), mas como muitas outras ferramentas de identificação de risco há mais de uma fonte responsável pelo seu desenvolvimento como KLETZ (1986) e KNOWLTON (1992), através do “Chemetics Manual” e tem sido objeto de numerosas variações até hoje.

O estudo é conduzido analisando-se o processo, a fim de descobrir perigos potenciais e problemas operacionais, utilizando uma abordagem direcionada por palavras-chave. Em princípio, a metodologia pode ser aplicada quando estiverem disponíveis o “layout” da planta, o fluxograma de processo, o conjunto de palavras-chave e outras informações que revelem os objetivos do projeto. O conceito básico do HAZOP é, a partir de uma descrição completa do processo, questionar todos os detalhes do mesmo para descobrir que desvios da concepção original podem ocorrer e quais as causas e as consequências destes possíveis desvios.

A atividade central é a checagem das características de projeto e operação, bem como dos perigos e problemas operacionais. É preciso transformar os eventos intermediários em falhas principais, de interesse para o estudo. Deve-se atentar também para as falhas ocultas e problemas de comunicação no projeto.

A ênfase dos estudos de HAZOP é na geração de desvios/falhas, mas esta metodologia não é simplesmente uma ferramenta de identificação. Uma parte significativa da atividade em um HAZOP é relacionada à filtragem dos desvios identificados, de modo a evitar que os sistemas de projeto sejam inundados com informações irrelevantes. A contribuição de profissionais experientes é tão importante na filtragem quanto na geração. A técnica HAZOP tem sido amplamente utilizada e é a parte mais importante do sistema de identificação de perigos em muitas empresas, mas ela possui suas limitações.

Há um grande número de variantes do método original. Muitas (talvez a maior parte das) empresas adaptaram a técnica às suas próprias necessidades. Muitas destas adaptações ampliam a abrangência do método para condições anormais de operação ou outras atividades como manutenção, ou ainda para levar em conta outros fatores, tais como efeitos ambientais. Outro tipo de variante é a aplicação da técnica básica de HAZOP a sistemas que não tubulações e vasos de pressão. A este respeito deve ser lembrado que o HAZOP é a aplicação de uma metodologia de estudo e, frequentemente, é melhor retornar às suas origens para depois dar um passo à frente ao invés de aplicá-lo diretamente a novos casos.

O método HAZOP convencional foi desenvolvido para plantas nas quais o sistema de controle era baseado em mecanismos analógicos. Ele não é orientado para falhas associadas a sistemas de controle computadorizados. O “COMPUTER HAZOP” foi desenvolvido para potencializar a eficácia do HAZOP em relação a esta particularidade (KLETZ (1986) e KNOWLTON (1992)).

f) Análise de Modos de Falha e Efeitos (AMFE ou FMEA)

Outra técnica de identificação de perigos que é frequentemente utilizada como alternativa ao HAZOP é a FMEA. Ela envolve a revisão dos sistemas para descobrir os modos de falha que podem ocorrer e seus possíveis defeitos. A análise é orientada para os equipamentos, ao invés de parâmetros de processo.

O “BS 5760 Reliability of Systems, Equipment and Components, Part 5: 1991 Guide to Failure Modes, Effects and Criticality Analysis” (BSI, 1991b) trata dos propósitos, princípios, procedimentos e aplicações da FMEA, suas limitações e sua relação com outros métodos de identificação de perigos.

A AMECF é uma complementação da FMEA, na qual é realizada uma análise de criticidade, que é uma função da severidade do efeito e da frequência com a qual se espera que ele ocorra. A análise de criticidade envolve a determinação das frequências de ocorrência de cada modo de falha e a severidade de cada efeito desta mesma falha.

O propósito da FMEA é a identificação das falhas que conduzam a eventos indesejados na operação do sistema. Seus objetivos incluem:

- identificação de cada modo de falha, da sequência de eventos a ele associados e seus possíveis efeitos;
- uma classificação de cada modo de falha de acordo com características relevantes, incluindo capacidade de detecção, diagnóstico e teste, possibilidade de substituição, compensação e provisões operacionais;
- a determinação da criticidade de cada modo de falha (no caso da AMECF).

Ainda segundo a BS 5760, a informação necessária para uma FMEA pode ser organizada nos seguintes tópicos:

- estrutura do sistema;
- partida, operação, controle e manutenção do sistema;
- ambiente onde se localiza o sistema;
- modelagem do sistema;
- software do sistema;
- fronteiras do sistema;
- estrutura funcional do sistema;
- representação da estrutura funcional do sistema;
- diagrama de blocos;
- relevância da falha e provisões para compensação.

A informação básica de cada um dos itens analisados é: nome, função, identificação, modos de falha, causas da falha, efeitos da falha no sistema, métodos de detecção de falha, provisões para compensação, severidade dos efeitos e comentários.

A documentação principal utilizada em uma FMEA é o fluxograma de engenharia, que possibilita a preparação do diagrama de blocos. A identificação dos modos de falha e seus efeitos é precedida pela preparação de uma lista de modos de falha esperados, à luz da utilização do sistema, do elemento envolvido, do modo de operação, da especificação da operação, das restrições de caráter temporal e do meio-ambiente.

Os modos de falha podem ser classificados em dois níveis: genéricos e específicos. Como exemplos de modos de falha genéricos, temos:

- falha durante a operação;
- falha em operar num determinado instante;
- falha em cessar a operação em determinado instante;
- iniciar a operação antes do previsto.

Dos específicos:

- trincado/quebrado;
- distorcido;
- sub-dimensionado; etc.

As causas de falha associadas a cada modo devem ser identificadas. A BS 5760 fornece um “checklist” de causas de falha potenciais, dividido nos seguintes itens: especificação, projeto, fabricação, instalação, operação, manutenção, ambiente e forças da natureza.

Os efeitos da falha envolvem mudanças na operação, função ou status do sistema e isto deve ser identificado na análise. Os efeitos da falha podem ser classificados em locais ou terminais. Efeitos locais referem-se às consequências no nível do elemento sob análise e os terminais àqueles ao nível mais alto do sistema.

Quando a FMEA deve ser aplicada a uma estrutura hierarquizada é preferível restringir-se a apenas dois níveis e executar a análise separadamente em cada um deles. Os efeitos da falha, identificados em um nível, podem ser usados como modos de falha no nível superior e assim por diante.

A FMEA é uma metodologia eficaz de análise de elementos que podem provocar a falha de todo, ou grande parte de um sistema. Ela não é muito indicada quando uma lógica complexa é necessária para descrever a falha do sistema.

Uma técnica complementar a ela, de caráter dedutivo é a Árvore de Falhas, que é mais indicada nos casos em que a lógica da falha é mais complexa.

A FMEA pode ser um processo ineficiente e trabalhoso se não for corretamente aplicado e não deve ser incluído indiscriminadamente nas especificações. Sua amplitude de aplicação é muito vasta, variando desde um simples instrumento a uma instalação inteira.

Passos para execução de uma análise do tipo FMEA:

1) Definir o sistema e seus requisitos funcionais e operacionais:

a. Incluir as funções primárias e secundárias, o desempenho esperado, as restrições do sistema e as condições explícitas que constituam uma falha. A definição do sistema deve incluir a definição de cada modo de operação, bem como a sua duração;

b. Apontar quaisquer fatores ambientais relevantes como temperatura, umidade, vibração e pressão durante o período de operação e na parada da instalação;

c. Considerar falhas que possam levar ao não cumprimento de requisitos mínimos exigidos pelas entidades reguladoras.

2) Fazer o diagrama de blocos do sistema, de modo a mostrar as relações entre os elementos e eventuais interdependências. Diagramas separados podem ser necessários para cada modo de operação. O diagrama de blocos deverá conter:

a. Uma divisão do sistema em seus principais subsistemas, incluindo relações funcionais;

b. Identificação apropriada do subsistema, assim como as suas entradas e saídas;

c. Quaisquer redundâncias, caminhos alternativos ou outras características de projeto que tornem o sistema mais seguro.

3) Identificar os modos de falha, suas causas e seus efeitos:

a. Identificar as possíveis causas associadas a cada modo de falha postulado;

b. Identificar, avaliar e registrar as consequências para cada modo de falha, na operação do componente,

considerando manutenção, pessoal e os objetivos do sistema, assim como qualquer efeito no nível superior.

4) Identificar métodos de detecção de falha e isolamento e verificar se outros modos de falha forneceriam a mesma indicação (gerando a necessidade de separação dos métodos de detecção).

5) Identificar características de projeto e provisões operacionais que previnam ou reduzam os efeitos do modo de falha. Isto pode incluir:

- a. Itens redundantes que possibilitem a continuidade da operação se um ou mais componentes falharem;
- b. Modos alternativos de operação;
- c. Dispositivos de alarme ou monitoramento;
- d. Quaisquer outros meios que possibilitem a operação efetiva ou que limitem os danos.

6) Identificar combinações específicas de falhas múltiplas a serem consideradas, sabendo que, quanto maior o número de falhas múltiplas consideradas, mais complexa a análise se torna. Caso se opte pelo AMECF, a severidade dos efeitos da falha é categorizada, a probabilidade é determinada e o número de recursos redundantes de mitigação, necessários para manter a probabilidade de falha em níveis aceitáveis, é determinado.

7) Revisar ou repetir a análise tipo FMEA toda vez que o projeto for modificado.

g) Árvore de Eventos (AE)

Segundo OLIVEIRA ET AL. (2000), a AE é um diagrama lógico que caracteriza a propagação de um evento iniciador de acidente em termos de falhas e/ou sucessos de funções ou sistemas, segundo uma determinada ordem lógica de prioridade (cronológica e/ou funcional), definindo as sequências de acidentes.

Ela começa com um evento inicial específico (como uma falta de energia ou ruptura de uma tubulação) e é desenvolvida de “baixo para cima” (técnica indutiva).

Ela pode ter uma abordagem qualitativa ou quantitativa. Qualitativamente é utilizada para identificar as saídas do evento inicial, quantitativamente para estimar as frequências ou probabilidades de cada saída. O evento inicial é geralmente

colocado à esquerda e os ramos vão sendo construídos em direção à direita. Cada ramo representa uma diferente sequência de eventos resultando em uma saída.

Os principais elementos da árvore são as definições dos eventos e os vértices lógicos. O evento inicial é usualmente expresso como uma frequência (eventos/ano) e as subdivisões seguintes como probabilidades e, portanto, a saída final é expressa também como frequência (eventos/ano). Na construção de uma AE, a convenção normal é pelo uso de saídas binárias, ao invés de múltiplas saídas, assim a soma das probabilidades das saídas deve ser igual à unidade e a soma das frequências das saídas deve igualar a do evento inicial.

Em certos casos, uma AE pode ser reduzida a outra equivalente.

h) Árvore de Falhas (AF)

É um diagrama lógico destinado a apresentar as causas de um dado evento indesejável, frequentemente um perigo. A possibilidade de ocorrência deste evento, chamado Evento Topo (ET), deve ser prevista antes da construção da árvore, através da utilização de outro método de identificação de perigos.

A AF é, portanto, uma técnica dedutiva e de natureza qualitativa e quantitativa, sendo largamente utilizada na avaliação de perigos, mas de grande valor também na sua identificação. Em muitos casos, basta identificar os caminhos críticos e os eventos iniciadores que podem ocasionar o ET, sendo desnecessária a quantificação da frequência de ocorrência destes eventos.

O conceito original da AF foi desenvolvido pela “Bell Telephone Laboratories” no início dos anos 60, e em 1965 o interesse pelo método cresceu, por ocasião de um simpósio no qual colaboradores dessa empresa e da “Boeing Company”, mostraram seus trabalhos com essa técnica (“BOEING COMPANY”, 1965).

FUSSEL (1976) também cita algumas dificuldades no trabalho com a AF. Por ser uma forma sofisticada de análise de confiabilidade ela requer tempo e esforço considerável da parte de analistas bem treinados e, embora ela seja uma das melhores ferramentas para se analisar o sistema como um todo, ela não garante, por si só, a detecção de todas as falhas, especialmente as que possuam uma causa comum.

Embora um sistema de missão por fases possa ser analisado pela construção de um AF para cada fase, surgem alguns problemas na interface entre elas cuja solução não é trivial.

i) Diagrama Causa-Consequência

Outra técnica que incorpora características, tanto da Árvore de Falhas quanto da Árvore de Eventos, é o Diagrama Causa-Consequência, desenvolvido por NIELSEN (1975) e TAYLOR (1978).

O Diagrama Causa-Consequência é construído através da definição de um evento crítico e da análise das possíveis causas e consequências deste evento, o desenvolvimento do diagrama para frente tem as características de uma AE e para trás de uma AF.

Os elementos principais do diagrama são: definições de eventos e condições, bem como dos símbolos lógicos. Os símbolos lógicos incluem tanto os portões, que descrevem as relações entre os eventos causadores, como os vértices, que descrevem as relações entre as consequências.

Uma das características importantes do Diagrama Causa Consequência é sua capacidade em tratar com caminhos que gerem consequências alternativas e com a cronologia dos eventos. O diagrama também pode ser utilizado para análise quantitativa.

j) Análise de Falhas Humanas

Uma fonte importante de danos e perigos é a operação incorreta de uma planta. Há alguns métodos que estudam este problema, um deles é o HAZOP que, conforme descrito, utiliza ferramentas para descobrir a possibilidade de ocorrência de desvios de operação. Outros métodos são a Análise das Tarefas e a Análise dos Erros na Execução. O problema da falha humana é, contudo, muito complexo.

A Análise das Tarefas é uma técnica que foi originalmente desenvolvida como uma ferramenta de treinamento. Quando aplicada ao procedimento operacional da planta, ela procura desmembrá-lo em sub-rotinas, com o objetivo de descobrir potenciais dificuldades (ou mesmo erros) na execução das tarefas ou do procedimento como um todo.

A técnica de Análise de Erros na Execução é bastante utilizada nos países nórdicos, mas não tanto em outros lugares do mundo.

2.3 FMEA DE PROCESSOS

Como mencionado anteriormente, o FMEA – *Failure Modes Effects Analysis*, ou, em português, Análise de Modos de Falha e Efeitos potenciais é um sistema de gestão de riscos que se baseia na possibilidade de falhas de equipamentos ou pontos chaves de um processo e os efeitos que estas falhas podem causar (IQA, 1997).

Tais efeitos podem ser avaliados conforme a postura da empresa, ou em perdas econômicas, riscos para funcionários, riscos ambientais, etc. Esta avaliação estipula limites e caracteriza o processo quanto à necessidade de manutenção e possíveis falhas menores que, ocorrem pontualmente e com mais frequência, mas não são levadas em conta sem um sistema de gestão que não leva em consideração as falhas. A partir da existência e do registro de falhas menores, a empresa pode tomar providências para impedir que as falhas menores deem origem a grandes problemas (IQA, 1997).

Inúmeros autores trazem trabalhos relacionados com o uso de FMEA diversos processos, mostrando que este método pode ser aplicado em diferentes áreas e indústrias. Coimbra (2003) descreve sobre a aplicação de FMEA em análise de aspectos e impactos ambientais, apresenta resultados significativos na melhoria do processo, principalmente de avaliação de aspectos ambientais. Já Junior (2009), aplica o FMEA em sistema de resfriamento de emergência de uma usina nuclear experimental, mostra os riscos em sistema de atendimento a emergência e suas consequências. Neto e Castro (2002) usam o método de radiografia computadorizada para explorar os riscos pertinentes em um trocador de calor e aplicam o FMEA para avaliação de riscos. Aguiar (2007) aplica o método para propor um processo de tomada de decisão dentro de uma empresa automotiva. Peixoto (2009) aplica o FMEA na gestão de água não potável em condomínios residenciais, se baseando em normas nacionais de qualidade de água e Fernandes e Rebelato (2005), propõe metodologias para integração do FMEA e de QFD (*Quality Function Deployment* – Desdobramento da Função Qualidade) já existentes em uma empresa metal mecânica.

3 METODOLOGIA

3.1 IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA

O estudo foi realizado na empresa Clanox Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda., situada no município de Almirante Tamandaré, PR. Na planta industrial são produzidos químicos para tratamento de água e a caldeira fornece energia para aquecimento de água de processo e do vaso de pressão onde um dos produtos é feito.

A caldeira é do modelo Flamotubular e o combustível utilizado para seu aquecimento é o gás natural. O sistema de capacidade para produção de 6 toneladas de vapor por hora trabalha a uma pressão máxima de trabalho de 7 kgf/cm² e temperatura máxima de 180°C. O sistema é aquecido por óleo térmico, que não é nem um pouco usual, mas a empresa optou por aproveitar um sistema que já possuía. O sistema completo será descrito com mais detalhes a frente do trabalho.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

A empresa forneceu todos os documentos existentes vinculados à caldeira, como manuais de instalação, placa de identificação, planilhas de revisão e manutenção preventiva. Destes documentos, foram retiradas principalmente informações sobre o histórico da caldeira e especificações técnicas. A empresa delimitou as informações que poderiam ser divulgadas, mas os documentos não poderiam ser expostos neste trabalho.

Foi realizado levantamento de campo das informações sobre o andamento do processo, tipos de treinamento que receberam para a operação do sistema, etc. Fotos de várias partes do processo foram tiradas para ilustrar melhor a descrição de cada parte do processo.

3.2.2 ESQUEMATIZAÇÃO DO PROCESSO

O processo foi separado em cinco partes para simplificar o trabalho: Tratamento de água; Armazenamento de combustível; Geração de energia; Caldeira; Distribuição do vapor e; Resfriamento.

Cada um destes processos foi descrito de forma a elucidar as informações técnicas e de segurança relevantes, para que os Módulos de falha fossem aplicados.

Para a aplicação do método, foram avaliados os pontos de possíveis falhas e que provocassem risco a segurança em equipamentos ou trechos do processo que possuem relevância. Cada processo foi elucidado por meio de um fluxograma simples, apresentando rapidamente o seu funcionamento.

Apesar da existência de poucos documentos (apenas os exigidos pela NR 13), houve a análise em campo dos processos junto com os operadores.

3.2.3 FMEA

Como dito anteriormente, o real alvo do FMEA foi à identificação de falhas comprometam o processo. Para tanto, a aplicação do método será realizada com base na descrição que JUNIOR (2009) utilizou em sua dissertação.

A análise foi documentada e exposta em planilhas, denominadas como Planilhas de Processos – Caldeira, denominada pela sigla PPC (Planilha de Processos do sistema da Caldeira), como mostra a planilha abaixo:

| PCC - Planilha de Processos do sistema da Caldeira | | |
|--|------------------------------|---|
| Processo | Sigla de Identificação geral | Descrição |
| Tratamento de água | TA | Tratamento da água de entrada da caldeira para geração de vapor |
| Armazenamento de combustível | AC | Armazenamento de combustível, sistema de regulação de pressão, tubulação de transporte do combustível |
| Geração de energia | GA | Sistema automatizado para queima do gás e geração de energia |
| Caldeira | CD | Caldeira, bomba de fornecimento de água, sistemas de segurança e controle |
| Distribuição de vapor | DA | Tubulação para distribuição do vapor e equipamentos de segurança |
| Resfriamento | DA | Equipamento para resfriamento de emergência |

Tabela 1 – Planilha de processos do sistema da caldeira

Cada planilha recebeu um código e foi confeccionada nomeando-se as diferentes partes do processo e está ordenada em coluna, da esquerda para direita, seguindo a seguinte ordem:

a) Número de identificação: pode ser o número de série ou outro número de referência, desde que identifique perfeitamente o item, de modo a garantir a sua rastreabilidade;

b) Item: o nome do item (ou função do sistema) que é objeto da análise;

c) Função: é um relato conciso da função executada pelo componente;

d) Modos de Falha: todos os modos de falha passíveis de serem previstos (e que sejam relevantes para a análise em questão) devem ser identificados e descritos;

e) Modo Operacional: é a descrição sucinta do modo de operação no qual a falha ocorre;

f) Efeitos da Falha: as consequências de cada modo de falha, listado na análise, devem ser identificadas, avaliadas e registradas. A falha em questão pode provocar impactos localmente em níveis imediatamente superiores e na planta como um todo.

- Locais: concentram-se especificamente nos impactos que um determinado modo de falha possa causar na operação do item analisado ou de outros componentes neste mesmo nível;

- Próximo Nível: de modo similar, refere-se às consequências do modo de falha postulado verificadas no nível imediatamente superior ao do item analisado;

- Nível Final: avalia o resultado da falha daquele componente em análise no sistema como um todo.

g) Método de Detecção: cita os métodos pelos quais o operador pode detectar a ocorrência da falha.

h) Recursos de Compensação: podem ser tanto recursos de projeto (como redundâncias) ou procedimentos a serem tomados pelo operador e que servem para limitar ou mitigar a ocorrência de uma falha.

i) Classe de Severidade: cada modo de falha deve receber uma classificação de severidade, de acordo com o seu efeito no sistema. Seguindo a sugestão de JUNIOR (2009) sugere as seguintes categorias de severidade:

- I. Catastrófica: uma falha que pode causar morte ou perda do sistema;

- II. Crítica: uma falha capaz de provocar ferimentos graves e/ou grandes danos ao sistema, resultando no não cumprimento da missão, para o qual foi projetado;

- III. Marginal: uma falha que pode causar ferimentos de menor gravidade e pequenas perdas ao sistema que resultarão em atraso ou outros problemas para o cumprimento da missão;

IV. Desprezível: uma falha que não seja grave o suficiente para causar ferimentos ou danos ao sistema, mas que resultará em reparo ou manutenção não programada do mesmo.

j) Observações: Qualquer comentário pertinente necessário ao perfeito entendimento das outras colunas da planilha.

A implementação do formulário descrito acima nos setores listados na Tabela 1 – Planilha de processos do sistema da Caldeira, resultando em uma planilha para cada diferente setor.

Cada planilha é o resultado da aplicação da ferramenta FMEA seguindo o mesmo modelo proposto por JUNIOR (2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

4.1.1 TRATAMENTO DE ÁGUA

Utiliza-se água da SANEPAR em toda a empresa e esta água sofre tratamento para poder ser utilizada na caldeira.

As etapas de tratamento e os equipamentos que realizam cada processo são:

- Recebimento da água: A água é encaminhada para uma torre de onde, com apenas pressão de coluna d'água, passa por um sistema de osmose reversa;

- Osmose reversa: Sais minerais são removidos da água que é estocada em dois reservatórios de aproximadamente 10m³. Um dos reservatórios serve para fornecer água para o laboratório da empresa e a outra recebe tratamento químico para antes de ser bombeada para a caldeira;

- Tratamento químico: São dosados produtos químicos para controlar o pH da água, impedir que a formação de lodo forme incrustações e reduzir a quantidade de oxigênio na tubulação de vapor;

- Bombeamento: A água tratada é injetada na a caldeira por uma bomba de alta pressão e uma válvula de retenção impede que, mesmo com a caldeira a toda pressão, volte vapor pelo sistema.

A tabela a frente mostra o resultado da aplicação da ferramenta nesta área:

| Nº de Ident. | Item | Função | Modo de Falha | Modo operacional | Efeitos da falha | | | Método de Detecção | Recursos de Compensação | Classe de severidade | Observação |
|--------------|-----------------------------|--|--|--------------------|---------------------------|--|---|----------------------|---|----------------------|------------|
| | | | | | Locais | Prox. Nível | Nível Final | | | | |
| TA - 01 | Caixas d'água | Armazenar água | Vazamento | Tratamento de água | Vazamento de água | Não contem água para os próximos processos | Não acarreta maiores riscos | Não há | Não há | IV | |
| TA - 02 | Osmose reversa | Remoção de dureza | Baixo rendimento | Tratamento de água | Não há | Baixa remoção de dureza | Altos níveis de sólidos na caldeira | Análise laboratorial | Troca dos filtros | III | |
| TA - 03 | Adição de produtos químicos | Controle de parâmetros físico químicos da água | Dosagem incorreta | Tratamento de água | Falta precoce de produtos | Corrosão não prevista | Rompimento da caldeira ou distribuição do vapor | Análise laboratorial | Correção do sistema de dosagem | II | |
| TA - 04 | Bombeamento para caldeira | Envia água tratada para dentro da empresa | Parada no fornecimento de água tratada | Tratamento de água | Não há | Falta de água no processo | Falta de água na caldeira | Não há | Revisão da bomba ou do sistema elétrico | II | |

Tabela 2 – Aplicação do FMEA para o Tratamento de Água

A aplicação da ferramenta apontou como principal fonte de riscos o TA – 03 Adição de produtos químicos e TA – 04 Bombeamento para caldeira.

Para o item TA – 03, a longo prazo, a adição equivocada de produtos químicos pode prejudicar o funcionamento da caldeira, provocar corrosão caso a dosagem esteja baixa ou entupimento e desperdício de produtos químicos caso a dosagem esteja alta. O manuseio dos produtos químicos pode provocar um acidente caso o produto caia em sua pele ou olhos, o que é prevenido fazendo com que o operador sempre use luvas, óculos de segurança ampla visão e avental de PVC.

Para o item TA – 04 há o risco de mal funcionamento e a caldeira não receba água tratada, podendo seu nível chegue a um nível crítico e ela para a operação. Caso todos os sistemas de emergência falhem, a falta de água pode causar o superaquecimento do sistema e provocar rompimento do vaso.

4.1.2 ARMAZENAMENTO DE COMBUSTÍVEL

O combustível usado pela empresa é o GLP. Essa possui cinco tanques de armazenamento, cada um com capacidade para 180 kg do gás. Os tanques possuem controle de volume interno, ficam externos ao barracão daquela a aproximadamente 10m de distância, não há cobertura, mas o acesso é controlado pela existência de um cadeado, ou seja, apenas pessoas autorizadas podem entrar. Os registros individuais e o registro geral ficam fechados quando não se está utilizando o sistema. O combustível é usado apenas no processo. A empresa faz um controle semanal da quantidade de gás dentro dos reservatórios para detectar

possíveis vazamentos, controle de novos pedidos de reabastecimento e verificar a vazão diária de combustível, podendo assim encontrar possíveis falhas com o sistema de queima. Toda a manutenção dos equipamentos que armazenam e transportam o gás são de responsabilidade da empresa, mas ela deve solicitar a manutenção a terceiros que possuam licenças e responsável técnico habilitado para realizar tal manutenção. A seguir, as etapas relevantes serão descritas:

- Os tanques de armazenamento possuem controle de nível, válvula de alívio e válvula individual;

- O combustível de todos os tanques vai para uma tubulação compartilhada e ao final desta, existe um regulador de pressão, com um manômetro antes e depois e um registro de esfera para fechar o fluxo;

- A tubulação, identificada com a coloração amarela, vai sob o solo até o regulador de pressão e vazão do queimador e, antes dele, existe mais um registro para desligamento do fluxo, caso necessário. Não há como verificar pequenos vazamentos nesta rede de forma rápida, então ela só é verificada anualmente;

A tabela a seguir ilustra a aplicação do FMEA no sistema de Armazenamento de Combustível:

| Número de identificação | Item | Função | Modo de Falha | Modo operacional | Efeitos da falha | | | Método de Detecção | Recursos de Compensação | Classe de severidade | Observação |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------|--|
| | | | | | Locais | Prox. Nível | Nível Final | | | | |
| AC - 01 | Tanques de GLP | Armazenagem de combustível | Vazamento | Armazenamento de combustível | Risco de explosão ou chamas | Falta de combustível | Parada no processo | Não há | Conserto do vazamento | III | Há verificação esporádica e não controlada do volume dos tanques |
| AC - 02 | Regulador de pressão | Regular a pressão da tubulação | Pressão fornecida errada | Armazenamento de combustível | Não há | Falta de combustível | Parada no processo | Não há | Regulagem ou troca do material | III | |
| AC - 03 | Tubulação indica para gás combustível | Transporte do gás | Vazamento | Armazenamento de combustível | Risco de explosão ou chamas | Falta de combustível | Parada no processo | Não há | Conserto do vazamento | III | |

Tabela 3 – Aplicação do FMEA no Armazenamento de combustível

Para todos os itens listados, os riscos estão relacionado com vazamento de gás inflamável. Por razões de segurança, os tanques ficam no mínimo 10 m de qualquer construção e fiação elétrica (incluindo disjuntores, relés, etc.), além de estarem ao ar livre. O risco de alguma chama ocorresse seria se houve sabotagem e alguém acendesse alguma fonte de fogo próxima ao vazamento. Os limites deste item vão até a entrada no barracão e os sistemas de segurança e elétricos são considerados no item Geração de Energia, visto logo à frente.

4.1.3 GERAÇÃO DE ENERGIA

A geração de energia é feita por um equipamento Thermotec, que opera com queimando aproximadamente 100kg de gás por hora. A queima do gás aquece um óleo de transferência térmica, que é bombeado para a caldeira. Os equipamentos e dispositivos relativos a seu funcionamento e a segurança estão relacionados serão descritos:

- A válvula de controle de pressão e fluxo na entrada do queimador controla estes parâmetros para o funcionamento adequado;

- Todo o processo de queima é controlado por um CLP;

- O exaustor insufla a mistura de ar/ combustível dentro de queimador, depois de por 2 minutos insuflar apenas ar, para garantir que não haja gás dentro da câmara de queima, evitando uma explosão quando a faísca para acendimento da chama for ativada;

- Após a centelha, por um minuto o sistema opera em 1º estágio e o detector de CO₂ é acionado. Caso não haja o gás em questão, o sistema é desativado apontando algum problema com a queima e tocando alarme sonoro, caso o composto seja detectado, o 2º estágio de queima é ativado. Durante a queima, o detector sempre está ativo;

- O sistema de controle de fluxo de óleo é verificado, caso o fluxo de óleo e a pressão estejam corretos, o processo continua, caso contrário, o sistema é desligado, tocando o alarme sonoro;

- O controle da temperatura é feita por um termostato que desliga o sistema quando a temperatura desejada é alcançada, sem acionamento do alarme. A temperatura máxima de aquecimento para o óleo usado é de 300 °C, mas a temperatura usada é de apenas 240 °C;

- Outro termostato controla a temperatura de retorno do óleo. Caso a temperatura seja excedida, o sistema desliga, também sem acionamento do alarme;

- O resfriamento do óleo é feito por uma derivação na rede, para utilizar-se a mesma bomba. É necessário o resfriamento do óleo é realizado apenas antes dos finais de semana ou quando haverá parada da produção, para que este não seja armazenado em alta temperatura e, por um problema de vazamento, venha provocar danos;

- Um último termostato ligado à caldeira controla a temperatura máxima do sistema que, quando alcançada também desliga o sistema;

- Dentro da caldeira existem três controles de nível, dos quais, apenas o de nível inferior mínimo desliga o aquecimento, com acionamento do alarme;

- O controlado de nível do óleo também desliga o sistema com acionamento do alarme, caso alcance o valor mínimo;

O resultado da aplicação do FMEA na Geração de Energia é pode ser visualizado a seguir:

| Nº de Ident. | Item | Função | Modo de Falha | Modo operacional | Efeitos da falha | | | Método de Detecção | Recursos de Compensação | Classe de severidade | Observação |
|--------------|-------------------------------|--|---|--------------------|--|--|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|---|
| | | | | | Locais | Prox. Nível | Nível Final | | | | |
| GE - 01 | Válvula de entrada | Regular pressão de entrada do combustível | Pressão fornecida errada | Geração de energia | Não há | Falha ou má eficiência do sistema | Aumento dos gastos com combustível | Não há | Troca ou regulagem da válvula | IV | |
| GE - 02 | Controle CLP | Controlar o processo | Parada no sistema | Geração de energia | Parada do sistema | Não há | Não há | Parada no sistema | Troca ou revisão do controlador | IV | Caso o CLP esteja com qualquer problema, nenhum sistema é ligado, impedindo qualquer operação |
| GE - 03 | Distribuição do óleo aquecido | Encanamento de óleo quente | Vazamentos | Geração de energia | Vazamento de óleo | Falta de óleo | Sujeira | Não há | Conserto dos vazamentos | IV | |
| GE - 04 | Detectores e controladores | Indicar o funcionamento correto e sem risco do sistema | Sobrecarga do sistema, rompimentos, explosão e outros danos | Geração de energia | Não há | Pressão ou temperatura inadequada, falta de chama ou de água | Explosão ou danos sérios ao sistema | Não há (*) | Troca ou regulagem do sistema | I | Há mais de um indicador para o mesmo parâmetro e quando um falha, outro é acionado. |
| GE - 05 | Reguladores manuais | Regulagem específica para processos | Dificuldade em impor regimes de trabalho | Geração de energia | Dificuldade em impor regimes de trabalho | Aumento do consumo de combustível | Falta de energia nos processos | Não há | Troca ou regulagem do sistema | IV | |

Tabela 4 – Aplicação do FMEA na Geração de energia

O maior risco referente a este processo vem do GE – 04 Detectores e controladores, uma vez que o não funcionamento de qualquer dispositivo de emergência pode provocar superaquecimento do sistema (provocando desperdício de energia) ou acúmulo de gás sem chama dentro do queimador, o que pode resultar em explosão.

4.1.4 CALDEIRA

A caldeira é o equipamento mais complexo e que possui a maior parte dos dispositivos de segurança. Caso qualquer parâmetro de temperatura, pressão ou volume de água estejam fora do esperado, o sistema de aquecimento é desligado, como visto no item anterior. Conforme dados da NR-13 a caldeira é considerada de Classe B, pois opera entre 5,99 kgf/cm². O Profissional que opera o sistema deve ter no mínimo 60 horas de experiência no sistema (além do treinamento por profissional habilitado), inspeção anual da estrutura da caldeira, válvulas de segurança devem ser testadas todo mês (em operação), além de testes de pressão anuais e obrigatório caso o equipamento fique inoperante por mais de 6 meses.

O manual da caldeira aponta valores de 7,00 kgf/cm² como pressão máxima permitida, 6,5 kgf/cm² como pressão de trabalho, vazão de vapor máxima de 1 m³/h e temperatura máxima de 170 °C.

Os itens abaixo descrevem o funcionamento do processo e do equipamento em questão:

- São 3 sensores de nível na caldeira: nível inferior mínimo (emergencial), nível inferior, nível superior, cada um será descrito a seguir;

- A água é injetada por uma bomba de alta vazão dentro da caldeira. O controlador de nível inferior aciona a bomba e o de nível máximo a desliga. Quando a bomba está ligada há um sinal luminoso que indica seu funcionamento. Esta bomba pode ser acionada manualmente a qualquer momento do processo, mas os sensores de nível desligarão ou ligarão a bomba quando acionados;

- O sensor de nível inferior mínimo desliga o sistema de aquecimento e aciona o alarme sonoro;

- Existe um pressostato e um termostato que, quando acionados, desligam o sistema de aquecimento em caráter emergencial, acionando o alarme. O pressostato também aciona a abertura de uma válvula para alívio de pressão.

- Há uma válvula de alívio de pressão, regulada para abrir quando a PMTP 7,0 kgf/cm² é alcançada. Esta válvula possui um acionamento manual, utilizado para fazer verificação diária do seu funcionamento;

- Uma válvula de descarte, na parte inferior da caldeira, faz o descarte do fundo para remover materiais precipitados em seu interior. Esta válvula possui abertura pneumática e é acionada regularmente para garantir que não ocorram formações de incrustações no fundo da caldeira;

- Um visor de vidro é utilizado para acompanhar o nível da caldeira, junto com uma lâmpada que ilumina seu interior. Caso os sensores de nível falhem, a visualização pode ser feita por este visor;

- Todos os grampos e parafusos são fechados com um torquímetro, devidamente calibrado. Em todas as paradas para inspeção todas as bocas são abertas para verificar e trocar as juntas de vedação. A boca de inspeção é aberta com maior frequência para limpeza interna e procura visual de problemas internos;

- Da caldeira sai o vapor e sua temperatura é apenas controlada, sem nenhum dispositivo de segurança;

A seguir, a tabela que ilustra a aplicação do FMEA na área da Caldeira:

| Nº de Ident. | Item | Função | Modo de Falha | Modo operacional | Efeitos da falha | | | Método de Detecção | Recursos de Compensação | Classe de severidade | Observação |
|--------------|---|--|--|--------------------|--|--|---------------------------------|---|---|----------------------|---|
| | | | | | Locais | Prox. Nível | Nível Final | | | | |
| CD - 01 | CLP | Controlar o processo | Parada no sistema | Geração de energia | Parada do sistema | Não há | Não há | Parada no sistema | Troca ou revisão do controlador | IV | Caso o CLP esteja com qualquer problema, nenhum sistema é ligado, impedindo qualquer operação |
| CD - 02 | Controle de nível | Controle de nível | Erro em leitura de nível | Geração de energia | Nível de água inadequado | Problemas com a geração de vapor | Falha ou rompimento da caldeira | Visual | Limpeza ou troca | II | |
| CD - 03 | Caldeira | Conter a pressão e armazenar vapor | Rompimento | Geração de energia | Vazamento | Acidentes causados pelo vapor | Grandes perdas e acidentes | Revisões previstas na legislação | Manutenção do vaso | I | |
| CD - 04 | Pressostatos e termostatos | Controlar valores máximos de pressão e temperatura | Temperatura e pressão acima da permitida | Geração de energia | Pressão ou temperatura acima da permitida | Acionamento dos sistemas automáticos | Rompimento da caldeira | Verificação com sistema analógico (visual e esporádico) | Troca ou revisão dos itens | II | |
| CD - 05 | Indicadores de temperatura e pressão e válvula de fundo | Indicar parâmetros, descarte de fundo do sistema | Indicação errada, acúmulo inadequado de material | Geração de energia | Entupimento /baixo rendimento da produção de vapor | Falta de parâmetros para verificação dos outros sistemas | Não há | Não há | Troca dos indicadores / Limpeza ou troca da válvula | III | |
| CD - 06 | Bomba para injeção de água | Suprir o abastecimento de água tratada da caldeira | Não funcionamento | Geração de energia | Falta de água na caldeira | Parada inesperada por falta de água | Não há | Não há | Troca ou revisão da bomba | II | |
| CD - 07 | Válvula de alívio | Aliviar a pressão caso esteja acima da adequada | Não abertura caso | Geração de energia | Elevação da pressão | Rompimento da caldeira | Não há | Não há | Troca, revisão e calibração | I | |

Tabela 5 – Aplicação do FMEA na Caldeira

A caldeira por ser o centro do sistema apresenta a maior quantidade de riscos e maior potencial catastrófico. O rompimento do vaso e potencial liberação de grande quantidade de vapor é o maior risco de todo o sistema. Isto pode ocorrer caso os sistemas CD – 3 Caldeira (vaso, caso haja rompimento no corpo do sistema, conexões, uniões, boca de inspeção), tal rompimento podendo ser causado por excesso de pressão, ocorrido caso os dispositivos de segurança CD – 04 Pressostatos e Termostatos não atuem de maneira adequada e por um travamento do CD – 07 Válvula de alívio de pressão, sistema mecânico, que independe de qualquer sistema elétrico de acionamento, sendo o ultimo recurso caso todos os itens de segurança e monitoramento anteriormente apresentados falhem.

4.1.5 DISTRIBUIÇÃO DO VAPOR

A distribuição é feita por tubulação de ferro, suficientemente dimensionada para suportar a pressão e temperatura. Como o vapor é encaminhado para poucos processos, há uma rede de pequena extensão e não há isolamento térmico.

Só existe um sistema de remoção de água e partículas após a saída e duas válvulas de controle para fazer a retirada de ar ou água que possa vir a estar dentro da rede de distribuição. As duas válvulas são usadas também para executar a limpeza química e passivação da tubulação, quando necessária.

Na tabela seguinte pode ser visualizada a aplicação da ferramenta no sistema de Distribuição de vapor.

| Nº de Ident. | Item | Função | Modo de Falha | Modo operacional | Efeitos da falha | | | Método de Detecção | Recursos de Compensação | Classe de severidade | Observação |
|--------------|--------------------|---|--|-----------------------|---|---|--|--------------------|---------------------------------------|----------------------|------------|
| | | | | | Locais | Prox. Nível | Nível Final | | | | |
| DA - 01 | Filtros de linha | Remover material sólido da linha | Material sólido correndo na linha de vapor | Distribuição de vapor | Entupimento | Acúmulo de material nos reguladores ou registros | Falta de fluxo de vapor | Inspeção visual | Limpeza regular / Troca se há avarias | III | |
| DA - 02 | Redutor de pressão | Regular pressão de entrada dos equipamentos | Pressão não adequada para os equipamentos | Distribuição de vapor | Passagem de pressão acima da desejada | Excesso de temperatura e pressão nos equipamentos | Rompimento de dutos por excesso de pressão | Não há | Regulagem ou troca | II | |
| DA - 03 | Condensador | Reaproveitar o vapor novamente no processo | Vazamento | Distribuição de vapor | Risco de acidente com água a alta temperatura | Maiores gastos com produtos químicos | Não há | Não há | Conserto do vazamento | IV | |

Tabela 6 – Aplicação do FMEA na Distribuição de Vapor

O equipamento maior risco encontrado na distribuição de vapor foi considerado o DA – 02 Redutor de pressão. Sua falha pode provocar liberação de vapor a pressão acima da pressão máxima permitida nos equipamentos, podendo provocar rompimento de tubulação ou dutos dos equipamentos.

4.1.6 RESFRIAMENTO

O resfriamento do óleo serve principalmente para não se manter grandes quantidades de óleo a altas temperaturas, mas também, quando se é necessário realizar alguma manutenção, não se pode esperar muito tempo até que o equipamento esfrie.

O resfriamento é realizado canalizando o óleo por um trocador térmico onde há a troca com água, que circula em um sistema de evaporação forçada.

- Com o sistema de aquecimento desligado, o óleo é bombeado (utilizando-se da mesma bomba que o circula no aquecimento) através do trocador de calor;

- A água é passa pelo trocador e é acondicionada na torre de resfriamento, onde a passagem de ar forçada por um ventilador promove a evaporação da água e retirada do calor;

- Esta água recebe um tratamento diferenciado para que não haja formação de incrustações.

A ultima tabela apresentada é resultado da aplicação da ferramenta no Sistema de Resfriamento, trazida a seguir:

| Nº de Ident. | Item | Função | Modo de Falha | Modo operacional | Efeitos da falha | | | Método de Detecção | Recursos de Compensação | Classe de severidade |
|--------------|------------------------|--|--------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------|
| | | | | | Locais | Prox. Nível | Nível Final | | | |
| RF - 01 | Bomba de circulação | Circular o óleo | Mal funcionamento | Resfriamento | Dificuldade no resfriamento | Atrasos | Emergência sem contingência | Não há | Troca ou revisão | III |
| RF - 02 | Registros da derivação | Direcionar o óleo para o trocador de calor | Má vedação | Resfriamento | Passagem de óleo não controlada | Atrasos ou ineficiência | Não há | Não há | Troca ou revisão | IV |
| RF - 03 | Água gelada | Resfriamento do óleo | Formação de incrustações | Resfriamento | Atrasos ou ineficiência | Obstrução completa da tubulação | Gastos com a falta de eficiência | Não há | Limpeza química ou troca da rede | IV |
| RF - 04 | Tanque reservatório | Armazenagem do óleo | Vazamento | Resfriamento | Vazamento de óleo | Falta de óleo | Sujeira ou atraso no processo | Não há | Conserto dos vazamentos | IV |

Tabela 7 – Aplicação da FMEA no sistema de Resfriamento

O sistema de resfriamento já é considerado pela empresa um sistema secundário de segurança por apresentar baixo (ou nenhum) uso corriqueiramente. O item RF – 01 Bomba de circulação foi apontado como o maior potencial de risco, pelo fato deste equipamento ser a ligação entre a caldeira e o sistema de resfriamento e mesmo o resto do equipamento apresentando mau funcionamento ele pode reduzir a temperatura do vaso apenas com a circulação do óleo frio. O sistema não possui sistema para prevenir o “golpe de aríete”, portanto, sempre que a caldeira é ligada, toda os registros de vapor são abertos para remoção de ar até que todo o sistema esteja carregado com apenas vapor.

4.1.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todos os resultados foram expostos para a equipe de operadores para discussão e, quando adotadas, medidas foram feitas em conjunto com todos.

A análise realizada mostra algumas vulnerabilidades críticas, já que foram encontrados itens onde a falha foi avaliada como Catastrófica, sendo GE-04, CD-03 e CD-07. E

Para GE-04, o sistema trabalha sempre com mais de um parâmetro para evitar as falhas e a empresa já possui como procedimento padrão a verificação manual dos parâmetros de temperatura e pressão. A modificação implementada adicionou uma planilha onde os dados de pressão e temperatura são registrados a cada 30 min. Este novo procedimento faz com que o operador mantenha o foco na verificação e, através geração da repetição, ele acostume a verificar o equipamento com frequência. O preenchimento correto da planilha também pode indicar desatenção do operador (quando os horários não são seguidos) ou mesmo falta de disponibilidade de tempo do operador para desempenhar a operação, além de indicar problemas no processo como um todo (diferentes gradientes de temperatura).

Em CD-03, a caldeira, o maior problema está ligado ao aparecimento de rompimentos do vaso que, mesmo pequenos podem atingir um operador de passagem. Apesar de a empresa manter um cronograma de manutenção, realizada por empresa especializada, implementou-se uma planilha de verificação mensal, onde o operador verificava, com o auxílio de uma lanterna, a integridade visual do vaso. Tal procedimento não irá identificar nada sutil (encontrado apenas com equipamentos), porém, caso haja um rompimento, depósito diferenciado em entradas ou saídas, ou mesmo uma peça que se desprende, o operador pode alertar ao responsável, que tomará as devidas providências para impedir que haja problemas quanto a isso.

A válvula indicada em CD-07 é o ultimo dispositivo de segurança caso a pressão máxima de trabalho seja ultrapassada. Além de aliviar a pressão, caso seja excedida, o ruído sonoro que provoca alerta os operadores que algo errado está acontecendo. A válvula sofre manutenção e calibração em empresa especializada semestralmente e não procedimento escrito sobre tal manutenção, apenas ela é enviada a cada intervalo de 6 meses para manutenção.

Vários outros processos foram apontados com Falhas Críticas, chamando atenção para falhas que podem danificar equipamentos, prejudicando o funcionamento da empresa, reduzindo sua produção e lucros. Estes pontos foram destacados, porém não houve necessidade aplicação de controles, já que há processos que, de alguma forma, fazem o acompanhamento.

Quando expostos todos os riscos envolvidos no processo, houve certa comoção por parte da equipe, pois a trivialidade com que se tem contato deixa

certas lacunas de atenção muitas vezes só percebidas quando algum problema acontece, sendo tarde demais para ação.

A diretoria considerou importante a aplicação do método, mesmo quando não se há registros de acidentes graves.

O resultado obtido com a aplicação da ferramenta foi bastante similar com os resultados apresentados por JUNIOR (2009), respeitando a ordem de grandeza, já que neste trabalho a aplicação se restringiu a apenas uma área da empresa. Mesmo havendo certa subjetividade na interpretação e aplicação de alguns critérios, há uma visualização melhor do todo quando a ferramenta é aplicada. A remoção desta subjetividade só pode ser realizada quando um acidente acontece e se conhece as reais consequências dos problemas causados por este ou aquele processo ou equipamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso mostrou que o método FMEA é aplicável e possibilita fácil gerencia de riscos de uma caldeira, desde o tratamento de água até o reaproveitamento do condensado. Todo o processo pode ser descrito de forma clara e objetiva, mas mantendo o foco na gestão de risco e gerenciamento com base no FMEA. Apesar de o sistema conter vários procedimentos internos que já mantinham a segurança, nos pontos onde houve a identificação de Falhas Catastróficas, houve a implementação de novas planilhas de acompanhamento de dados, melhorando o controle do processo.

A implementação de planilhas de controle pode ser o primeiro passo para a melhoria do sistema de gestão da empresa, já que boa parte das verificações, manutenções ou revisões não são documentadas. Porém, há aceitação, principalmente por parte dos funcionários, nas sugestões de melhoria, já que é clara a existência de medidas de controle que evitam acidentes que podem causar problemas sérios a empresa, aos funcionários e até ao entorno da empresa.

Como complemento ao trabalho, o FMEA pode ser aplicado em outras áreas, já que obteve receptividade por parte da gerência e dos colaboradores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR 12313, Sistema de combustão – Controle e Segurança para utilização de gases combustíveis em processos de baixa e alta temperatura, Brasil, 2000.

AGUIAR, D. C. de, Avaliação de sistemas de prevenção de falhas em processos de manufatura na indústria automotiva com metodologia de auxílio à decisão, Dissertação de mestrado, 2007.

BRASIL, Norma Regulamentadora (NR -13) Caldeiras e vasos de pressão, 2008.

BRASIL, Manual técnico de Caldeiras e vasos de pressão, 2006.

BORBA, A.O. & LIMA, A.R. de As Normas regulamentadoras e a gestão de intertravamento de caldeiras, vasos de pressão e fornos no Brasil, 2005.

CAMPOS, M. A. de, Estudo das instalações e operação de caldeira e vasos de pressão de uma instalação hospitalar, sob análise da NR – 13, 2011;

COIMBRA, M. de M., Aplicação de Análise de Modo e Efeito de Falha potencial (FMEA) para aplicação de significância de aspectos e impactos ambientais da indústria cerâmica, dissertação de Mestrado, 2003.

FERNANDES, J. M. R. & REBELATO, M. G., Proposta de método para integração entre QFD e FMEA, 2005.

Funcionamento de Caldeiras, retirado de <<http://science.howstuffworks.com>>, acesso dia 09 de agosto de 2014.

IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, Análise de Modo e Efeito e Falha Potencial (FMEA) – Manual de Referências, 1997;

JUNIOR, O. C., Aplicação da técnica de Análise de Modo e Falha e Efeitos ao sistema de resfriamento de emergência de uma instalação nuclear experimental, dissertação de mestrado, 2009.

MOTA, J. G. D., Inspeção baseada em risco aplicada ao planejamento de paradas de manutenção, 2003;

MACDONALD, D. Practical hazops, trips and alarms. Oxford, R.U. :Elsevier Inc., 2004.

NETO, W. W. G. & CASTRO, P. S. H. de, Avaliação de corrosão em trocador de calor, tipo duplo tubo, através da técnica da radiografia computadorizada, 2002;

PEIXOTO, L. de M., Requisitos e critérios de desempenho para sistema de água não potável de residenciais, Dissertação de mestrado, 2009.

PEIXOTO, N. H., Apostila de segurança do trabalho, UFSM, 2011.

ROYAL edifícios SOCIETY STUDY GROUP. Risk: analysis, perception and management. Londres, R.U.: RSSG, 1992.

SILVA, R. L. A. de, SOARES, P. R. F. T. & SILVA, A. K. B. de. Análise de risco utilizando a ferramenta FMEA em um gerador de vapor, 2008.